

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 7 月 21 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H04168

研究課題名（和文）呼気癌診断を実現する嗅覚センシングナルの「マーカー特徴量」の網羅的探索と最適化

研究課題名（英文）Comprehensive screening and optimization of "marker features" in olfactory sensor signals toward breath diagnostics

研究代表者

吉川 元起（YOSHIKAWA, Genki）

国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・グループリーダー

研究者番号：70401172

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 30,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、呼気によるがん診断の実現に向けて、近年開発された嗅覚センサ「MSS」を用いて、医療機関などで大量の呼気を測定し、機械学習を駆使した解析を行った。これにより、まず再現性の高い呼気測定方法およびデータ解析方法を確立することに成功した。さらにこの手法を用いてがん患者の呼気を測定し、得られたデータを機械学習によって解析することで、高い精度でがんか否かを予測可能なモデルを構築することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国の死因第一位であるがんは、早期の段階で発見・治療を行う事で、5年生存率を高くすることができる。しかしながら、現状のがん検診は精神的・肉体的苦痛、放射線被曝への不安、高額な費用、時間がかかるなどといった問題があり、受診率は伸び悩んでいる。本研究は、これらの問題を一挙に解決可能な、呼気によるがんの早期診断の実現を目指したものである。本研究では、物理・化学・工学・医学・計算科学など複数の分野の知見を融合することで、新たな学術体系の基礎を構築した。本研究により、呼気診断の実現に向けた具体的な指針が与えられたため、近い将来、がんの早期発見・早期治療および医療費の大幅な削減が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we first measured a large amount of exhaled breath samples at the hospitals using a recently developed olfactory sensor called MSS, and analyzed the data using machine learning. We succeeded in establishing a highly reproducible protocol for breath measurements and data analyses. Furthermore, by measuring the exhaled breath of cancer patients using this established protocol and analyzing the obtained data using machine learning, we succeeded in constructing a model that can predict whether a patient has cancer or not with high accuracy.

研究分野：嗅覚センサ

キーワード：嗅覚センサ 呼気診断 膜型表面応力センサ（MSS） 機械学習 特徴量 がん診断

1. 研究開始当初の背景

国民医療費は近年 40 兆円を上回る規模になっており、なかでも死因第一位のがんについては、その早期発見・早期治療が益々重要になっている。しかしながら、特に日本においては、受診率の低さががんの早期発見を妨げていることもあり、診断技術の抜本的な改革が急務となっている。これに対し、呼気を用いた診断は、医療従事者では無い一般の個人でも手軽に一定の診断が行える非侵襲性の診断方法であるため、医療診断に革命をもたらす技術として、その早期実現が切望されている。しかしながら、多成分混合ガスである呼気は、疾患によって複数種のガスの濃度が微妙に変化すると考えられており、疾患の状態を反映する「マーカー分子」の特定が難しい。

そこで本研究では、物理化学的特性の異なる複数の感応膜を塗布した嗅覚センサアレイを用いて呼気全体をパターン化し、疾患に起因する複雑なガス濃度比の変化全体を捉えることを目指す。この MSS センサシグナルのうち、がん関連の医療データと明確な相関を示す特徴を「マーカー特徴量」と定義し、その網羅的な探索を行う。

2. 研究の目的

本研究では、嗅覚センサによる呼気がん診断の実現に向けて、再現性の高い呼気の測定や解析方法を確立することを最初の目的とした。

また、確立された方法を用いて、実際のがん患者の呼気を測定し、機械学習を駆使した解析を行うことで、どの程度の精度で判別が可能であるかについて検証すると同時に、「マーカー特徴量」の網羅的な探索を行い、判別精度との関係を調べることを最終的な目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、近年開発された「膜型表面応力センサ (Membrane-type Surface stress Sensor, MSS)」（図 1）（文献、）というセンサ素子を複数アレイ状に配置したものを、嗅覚センサとして利用した。この MSS に各種の感応膜を塗布することで、各種呼気検体に対して、複数のシグナル応答波形を計測した。なお、本研究では、MSS アライアンスという産学官連携によって構築された技術のひとつである「MSS 標準計測モジュール」を用いて測定を行った（文献）。

具体的な測定方法や測定手順については、現在論文を執筆中であるため、後日報告予定である。

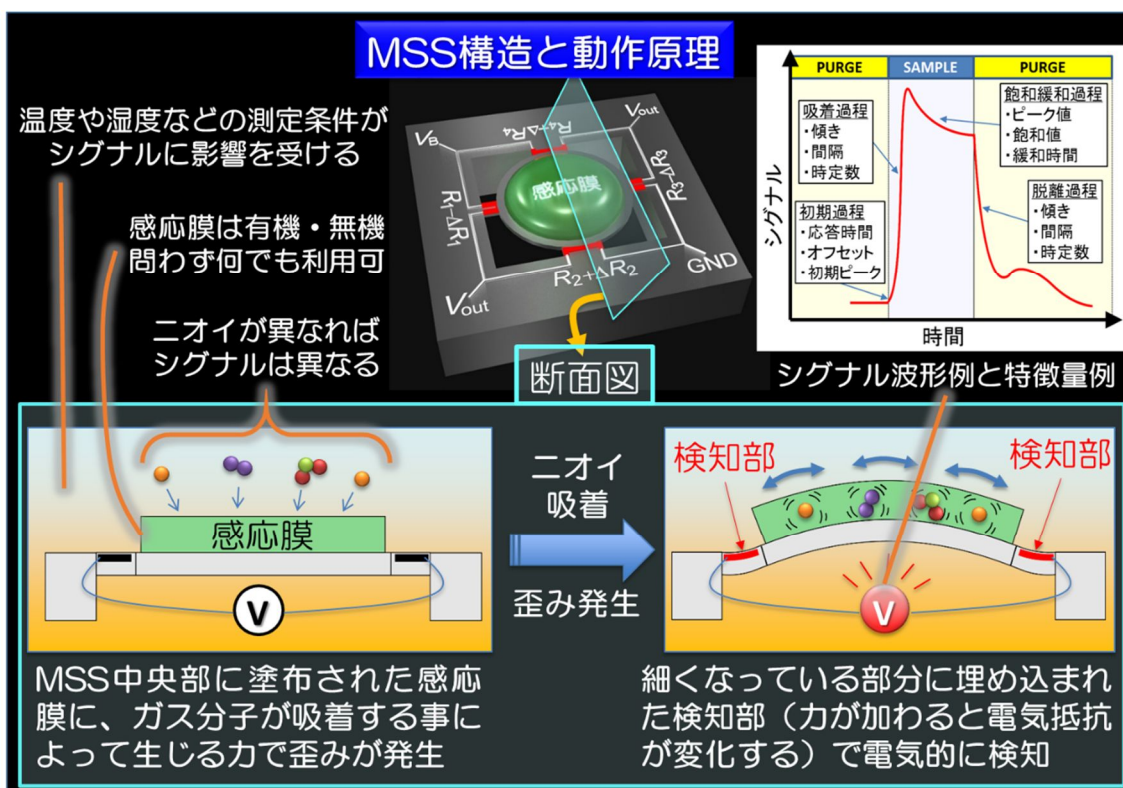


図 1：本研究で用いる嗅覚センサ「MSS」の構造と動作原理。超高感度と超小型を両立した理想的な嗅覚センサ素子。この MSS を複数配置し、それぞれ異なる感応材料（有機・無機など、どんな材料でも利用可）を塗布することで、各種呼気検体に対する複数のシグナル応答波形が得られる。

4. 研究成果

連携研究者が所属しており共同研究を行っている医療機関において、さまざまな条件で呼気測定を行った。特に一年以上に渡って呼気測定を行うことで、季節性の変動も含んだ温度や湿度などの外乱に対してロバストな測定・解析方法を確立することに成功した。これにより、測定日時が一年以上異なるサンプル間でも MSS シグナルが再現可能であることが確認された。

こうして確立された測定・解析方法を用いて、実際のがん患者の呼気の測定を行った。特に肺がん患者の手術前と手術後の呼気をセットで測定することにより、可能な限りバックグラウンドを揃えた呼気サンプルの MSS シグナルを取得した。このデータセットに対して、機械学習を用いた集中的な解析を進めたところ、高い精度でがんか否かを予測可能なモデルを構築することに成功した。この機械学習解析に関しても現在論文を執筆中であり、詳細については後日報告予定である。

この一連の呼気測定実験と並行して、各種機能性感応膜材料の開発も進めた。特に湿度などが多く含まれる呼気サンプルに対して安定して測定可能な感応膜の開発に成功した。さらに、データ解析に関しても、機械学習的アプローチと組み合わせる事により、より簡便にガスの識別が可能となる新たな解析法など、複数の新たな解析技術の構築に成功した。

以上、呼気診断の実現に向けて、再現性の高い呼気測定方法や新たなデータ解析手法などのソフトウェア要素の確立に成功し、さらに高いガス識別性能を有する各種機能性感応膜をはじめとするハードウェア要素の開発にも成功した。これらの技術を総動員して実際の医療現場での呼気測定を実施し、呼気がん診断の実現可能性について統計的な検証を行った。このように本研究を通じて、呼気診断の実現に向けた基礎技術体系の構築に成功した。

< 引用文献 >

Genki Yoshikawa, Terunobu Akiyama, Sebastian Gautsch, Peter Vettiger, and Heinrich Rohrer, "Nanomechanical Membrane-type Surface Stress Sensor," *Nano Letters* 11, 1044-1048 (2011).

Genki Yoshikawa, Terunobu Akiyama, Frederic Loizeau, Kota Shiba, Sebastian Gautsch, Tomonobu Nakayama, Peter Vettiger, Nico F de Rooij, and Masakazu Aono, "Two Dimensional Array of Piezoresistive Nanomechanical Membrane-type Surface Stress Sensor (MSS) with Improved Sensitivity," *Sensors* 12, 15873-15887 (2012).

<https://mss-forum.com>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 11件）

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 M. Nishikawa T. Murata S. Ishihara K. Shiba L. K. Shrestha G. Yoshikawa K. Minami K. Ariga | 4. 巻 94 |
| 2. 論文標題 Discrimination of Methanol from Ethanol in Gasoline Using Membrane-Type Surface Stress Sensor Coated with Copper(I) Complex | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 648-654 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200347 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 H. H. M. Yeung G. Yoshikawa K. Minami K. Shiba | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Strain-based chemical sensing using metal-organic framework nanoparticles | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A | 6. 最初と最後の頁 18007-18014 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TA07248F | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 K. Mistry K. H. Ibrahim I. Novodchuk H. T. Ngo G. Imamura J. Sanderson M. Yavuz G. Yoshikawa K. P. Musselman | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 Nanomechanical Gas Sensing with Laser Treated 2D Nanomaterials | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Advanced Materials Technologies | 6. 最初と最後の頁 2000704 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/admt.202000704 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 K. Minami G. Yoshikawa | 4. 巻 319 |
| 2. 論文標題 Effects of partial attachment at the interface between receptor and substrate on nanomechanical cantilever sensing | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical | 6. 最初と最後の頁 112533 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2020.112533 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 K. Minami G. Yoshikawa | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Finite Element Analysis of Interface Dependence on Nanomechanical Sensing | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Sensors (Basel Switzerland) | 6. 最初と最後の頁 1518 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20051518 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 G. Imamura G. Yoshikawa | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Development of a Mobile Device for Odor Identification and Optimization of Its Measurement Protocol Based on the Free-Hand Measurement | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Sensors | 6. 最初と最後の頁 6190 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20216190 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|------------------|
| 1. 著者名 G. Imamura K. Minami K. Shiba K. Mistry K. P. Musselman M. Yavuz G. Yoshikawa K. Saiki S. Obata | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Graphene Oxide as a Sensing Material for Gas Detection Based on Nanomechanical Sensors in the Static Mode | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Chemosensors | 6. 最初と最後の頁 82 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/chemosensors8030082 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 G. Yoshikawa | 4. 巻 39 |
| 2. 論文標題 嗅覚のAI | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Clinical Neuroscience | 6. 最初と最後の頁 186-187 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 T. Washio G. Imamura G. Yoshikawa | 4. 巻 104 |
| 2. 論文標題 計測指向機械学習と嗅覚センシングの新展開 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 電子情報通信学会誌 | 6. 最初と最後の頁 43-48 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 I. Osica A. F. A. A. Melo F. C. D. A. Lima K. Shiba G. Imamura F. N. Crespilho J. Betlej K. J. Kurzydowski G. Yoshikawa K. Ariga | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 Nanomechanical Recognition and Discrimination of Volatile Molecules by Au Nanocages Deposited on Membrane-Type Surface Stress Sensors | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials | 6. 最初と最後の頁 4061-4068 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.0c00115 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 K. Minami G. Yoshikawa | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Finite Element Analysis of Interface Dependence on Nanomechanical Sensing | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Sensors (Basel Switzerland) | 6. 最初と最後の頁 1518 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20051518 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 G. Imamura K. Shiba G. Yoshikawa T. Washio | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Free-hand gas identification based on transfer function ratios without gas flow control | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 9768 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-46164-1 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 K. Minami T. Nemoto G. Imamura K. Shiba R. Tamura T. Washio G. Yoshikawa | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Integration of MSS and data analysis technology towards olfactory sensors | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Aroma Science Technology and Safety | 6. 最初と最後の頁 312-317 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 K. Minami G. Imamura T. Nemoto K. Shiba G. Yoshikawa | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Pattern recognition of solid materials by multiple probe gases | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Materials Horizons | 6. 最初と最後の頁 580-586 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8MH01169A | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 G. Yoshikawa | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Membrane-type Surface stress Sensor MSS | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Japan Association on Odor Environment | 6. 最初と最後の頁 291-296 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 A. Yaegashi G. Yoshikawa T. Yokota Y. Aoki | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Industry-academia-government joint research framework towards de facto standard for olfactory IoT sensors/systems | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Japan Association on Odor Environment | 6. 最初と最後の頁 323-327 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 K. Shiba R. Tamura T. Sugiyama Y. Kameyama K. Koda E. Sakon K. Minami H. T. Ngo G. Imamura K. Tsuda G. Yoshikawa | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 Functional nanoparticles-coated nanomechanical sensor arrays for machine learning-based quantitative odor analysis | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 ACS Sensors | 6. 最初と最後の頁 1592-1600 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssensors.8b00450 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 H. Ngo K. Minami G. Imamura K. Shiba G. Yoshikawa | 4. 巻 18 |
| 2. 論文標題 Effects of Center Metals in Porphines on Nanomechanical Gas Sensing | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Sensors | 6. 最初と最後の頁 1640 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s18051640 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 K. Minami K. Shiba G. Yoshikawa | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Discrimination of structurally similar odorous molecules with various concentrations by using a nanomechanical sensor | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Analytical Methods | 6. 最初と最後の頁 3720-3726 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8AY01224E | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 K. Minami K. Shiba T. H. Ngo G. Imamura G. Yoshikawa | 4. 巻 66 |
| 2. 論文標題 Nanomechanical Sensors (MSS/AMA) for Odor/Mass Analyses | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Mass Spectrometry Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 25-29 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5702/massspec.S18-8 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 K. Minami K. Shiba G. Imamura H. T. Ngo G. Yoshikawa | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Highly Sensitive and Selective Receptor Materials for Membrane-type Surface Stress Sensor (MSS) and their Applications as an Artificial Olfaction | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Japan Association on Odor Environment | 6. 最初と最後の頁 297-304 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 J. A. Jackman N. J. Cho M. Nishikawa G. Yoshikawa T. Mori L. K. Shrestha K. Ariga | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Materials Nanoarchitectonics for Mechanical Tools in Chemical and Biological Sensing | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Chem Asian J | 6. 最初と最後の頁 3366-3377 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201800935 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 G. Imamura G. Yoshikawa T. Washio | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 New Data Analysis Methods for Sensing Signals Toward Pump-Free Olfactory Sensors | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Japan Association on Odor Environment | 6. 最初と最後の頁 315-322 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 G. Imamura K. Shiba G. Yoshikawa T. Washio | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Analysis of nanomechanical sensing signals; physical parameter estimation for gas identification | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 AIP Advances | 6. 最初と最後の頁 75007 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5036686 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|----------------------|
| 1. 著者名 K. Minami K. Shiba G. Yoshikawa | 4. 巻 129 |
| 2. 論文標題 Sorption-induced static mode nanomechanical sensing with viscoelastic receptor layers for multistep injection-purge cycles | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 124503 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0039045 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

[学会発表] 計58件 (うち招待講演 49件 / うち国際学会 12件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサ「MSS」の総合的研究開発 |
| 3. 学会等名 日本金属学会 2021年春期 第168回講演大会 企画シンポジウム 基調講演 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTセンサの実現に向けた総合的研究開発 |
| 3. 学会等名 第1回 センサ&IoTセミナー (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 人工嗅覚に向けた嗅覚センサMSSと機械学習の融合 |
| 3. 学会等名 第61回 バイオ・マイクロ・ナノテク研究会 2020 特別講演会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 人工嗅覚に向けた嗅覚センサMSSと機械学習との融合 |
| 3. 学会等名 nano tech 2021 特別シンポジウム（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTセンサ「MSS」 基礎・要素技術・応用展開 |
| 3. 学会等名 情報機構セミナー（招待講演） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 The Final Frontier "Olfactory Sensor" - MSS with AI Towards Practical Olfactory Sensors |
| 3. 学会等名 Initiation Seminar 2020（招待講演） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTシステムの要素技術開発 |
| 3. 学会等名 技術情報協会セミナー「においセンサの開発、定量化・可視化技術と、その応用事例」（招待講演） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 五感センサ最後の砦「嗅覚センサ」～高性能センサ素子「MSS」と人工知能による高度化～ |
| 3. 学会等名 CSJ化学フェスタ（招待講演） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサ開発における先端計測とインフォマティクス 技術的な「落とし穴」とその回避策 |
| 3. 学会等名 技術情報協会セミナー（招待講演） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサの歴史・現状・課題 |
| 3. 学会等名 令和2年度 電気学会センサ・マイクロマシン部門 総合研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサの現状・課題・展望 |
| 3. 学会等名 Smart Sensing 2020 [Keynote Speech]（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサMSSの総合的研究開発 |
| 3. 学会等名 日本金属学会 企画シンポジウム 基調講演（招待講演） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTセンサMSSにおけるニオイの判別基準と業界標準化の動向 |
| 3. 学会等名 技術情報協会セミナー（招待講演） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサ「MSS」 |
| 3. 学会等名 第4回元素戦略シンポジウム - 産学連携研究新展開 - |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサ「MSS」 |
| 3. 学会等名 International Nanotechnology Exhibition & Conference (nano tech 2020) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサMSSの社会実装に向けた総合的研究開発 |
| 3. 学会等名 第5回新技術導入・活用研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサMSSの総合的研究開発と医療への貢献の可能性と難しさ |
| 3. 学会等名 第7回嗅覚冬のセミナー（招待講演） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 Integration of advanced sensor array and machine learning towards artificial olfaction |
| 3. 学会等名 理研シンポジウム 第7回「光量子光学研究」（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 MSS × AI × ... = 嗅覚センサ |
| 3. 学会等名 日経エレクトロニクスセミナー 五感×脳（AI、XR、BMI）= 人間拡張が拓く新世界（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサと関連技術体系の研究開発 |
| 3. 学会等名 第119回 有機デバイス研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTセンサの現状と可能性 |
| 3. 学会等名 第6回「先端イメージングデバイス・技術分科会」（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサの実現に向けたハード・ソフト技術の統合 |
| 3. 学会等名 「情報技術と有機分子・バイオエレクトロニクス」～機器制御からAI活用まで～（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサMSSと固体材料識別への応用 |
| 3. 学会等名 NIMS WEEK |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサMSSの総合的研究開発 |
| 3. 学会等名 第59回日本臨床化学会年次学術集会 シンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 New technology for colorectal cancer detection using Membrane-type Surface stress Sensor (MSS) plus AI data analysis |
| 3. 学会等名 第78回日本癌学会学術総会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 人工嗅覚の実現に向けた要素技術の研究開発と統合 |
| 3. 学会等名 第80回 応用物理学会秋季学術講演会 シンポジウム「センシング・情報処理・応答の異機能が統合するトータルバイオメティック物質科学」(招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 膜型表面応力センサおよび関連技術体系の開発 |
| 3. 学会等名 2019年 電気化学秋季大会 シンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTセンサMSSの総合的研究開発と産学官連携による標準化 |
| 3. 学会等名 技術情報協会 講習会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 標準二オイ多次元メガライブラリ構築と高解釈性数理モデル抽出による判別精度の定量予測 |
| 3. 学会等名 第4回CREST領域会議 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 MSS towards Artificial Olfaction |
| 3. 学会等名 The 3rd International Workshop on MEMS and Sensor System 2019 (IWMS 2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 Nanomechanical Sensors MSS AMA toward Olfactory Sensign System |
| 3. 学会等名 16th International Workshop in Nanomechanical Sensors (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 五感センサ最後の砦「嗅覚センサ」の実現に向けた総合的研究開発 |
| 3. 学会等名 感覚研究ワークショップ『センシング医工学の現状と展望』（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 H. T. Ngo K. Minami G. Imamura K. Shiba G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 Membrane-type surface stress sensor (MSS) for artificial olfaction |
| 3. 学会等名 The International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (ISOEN) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Akiyama G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 Piezoresistive Membrane-type Surface-stress Sensor and Signal Readout Module to Support Research on Odor/Gas Sensing |
| 3. 学会等名 The International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (ISOEN) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 人工嗅覚の実現に向けて 膜型表面応力センサ「MSS」の基礎から最新研究動向まで |
| 3. 学会等名 CMCリサーチセミナー（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサMSSの研究開発と産学連携 |
| 3. 学会等名 湿度、水分計測・センサ研究会 第101回研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTセンサMSSの総合的研究開発と産学兼連携による標準化 |
| 3. 学会等名 技術情報協会 講習会（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 MSSセンサーとその未来 |
| 3. 学会等名 診断事業部 2018年度全体会議講演（招待講演） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 Nanomechanical Sensor “MSS” with AI towards IoT Olfactory Sensor System |
| 3. 学会等名 The 9th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology (IWAMSN) 2018（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTセンサMSSの基本原理と最新アプリケーション事例紹介 |
| 3. 学会等名 東陽テクニカ技術セミナー（招待講演） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 五感センサ最後の砦「嗅覚センサ」の実現に挑む |
| 3. 学会等名 岡山朝日高校京浜同窓会講演会（招待講演） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 Nanomechanical Sensor “MSS” with AI towards Artificial Olfaction |
| 3. 学会等名 The 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces Interfaces and Nanostructures (ACSIN-14) & The 26th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM26)（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 MSS基礎研究とハード・ソフト双方向開発 |
| 3. 学会等名 MEMSセンシング&ネットワークシステム展2018 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 五感センサ最後の砦「嗅覚センサ」～最先端技術と産学官連携による標準化～ |
| 3. 学会等名 NIMS WEEK 2018 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTセンサ「MSS」の基礎、要素技術、および応用展開 |
| 3. 学会等名 情報機構セミナー（招待講演） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTセンサMSSによる生体ガス測定の可能性 |
| 3. 学会等名 センサ・アクチュエータ・マイクロナノウィーク2018 次世代センサ総合シンポジウム " ニーズとシーズの出会い "（招待講演） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTセンサシステムの実現に向けた新センサとその集積プロセス |
| 3. 学会等名 第79回 応用物理学会 秋季学術講演会 シンポジウム「材料・プロセスが切り開く未来半導体デバイス」（招待講演） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚センサ開発における先端計測とインフォマティクス |
| 3. 学会等名 第79回 応用物理学会 秋季学術講演会 特別シンポジウム「インフォマティクスへの招待」(招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 人工嗅覚の実現に向けた最先端ハード・ソフト技術の垂直統合 |
| 3. 学会等名 第31回におい・かおり環境学会(招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 Nanomechanical Sensors (MSS AMA) with AI toward Artificial Olfaction |
| 3. 学会等名 International Union of Materials Research Societies (IUMRS) - International Conference on Electronic Materials 2018 (招待講演)(国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 " 嗅ぐ " を伝える - 嗅覚IoTセンサ (MSS) と産学官連携によるニオイの標準化への挑戦 |
| 3. 学会等名 第30回MEMS講習会「VR/RAを支えるセンシング技術とその活用事例:見る・触る・嗅ぐを伝える価値とは」(招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 最先端センサと人工知能で挑む五感センサ最後の砦「嗅覚センサ」 |
| 3. 学会等名 D-DATAワークショップ「データサイエンスとマテリアルズサイエンスの融合」(招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 MSS towards Artificial Olfaction |
| 3. 学会等名 The 1st Swiss-Japan workshop on MSS Science & Technology (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 「ニオイ」を測る ~ 最先端嗅覚IoT センサの現状と産学官連携による標準化 |
| 3. 学会等名 美味技術学会シンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 Nanomechanical Sensors towards Artificial Olfaction |
| 3. 学会等名 France-Japan Joint Workshop on Molecular Technology for Advanced Sensors (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 五感センサ最後の砦「嗅覚センサ」に挑む ~最先端センサと人工知能の融合と産学官連携による標準化 |
| 3. 学会等名 第76回「iスリーの会」(招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 超小型センサー素子MSSを用いた嗅覚IoTセンサー |
| 3. 学会等名 第5回「Forefront Technologyアカデミー」(招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 G. Yoshikawa |
| 2. 発表標題 嗅覚IoTセンサの社会実装に向けた要素技術の科学的/数理的最適化 |
| 3. 学会等名 先端ナノデバイス・材料テクノロジー第151委員会/平成30年度第1回研究会(招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計5件

| | |
|---------------------|-----------------|
| 1. 著者名 吉川元起 | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 シーエムシー出版 | 5. 総ページ数 9 |
| 3. 書名 匂いのセンシング技術 | |

| | |
|---------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 吉川元起 | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 技術情報協会 | 5. 総ページ数 10 |
| 3. 書名 においのセンシング、分析とその可視化、数値化 | |

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 T. H. Ngo K. Minami G. Imamura K. Shiba G. Yoshikawa | 4. 発行年 2019年 |
| 2. 出版社 Elsevier | 5. 総ページ数 12 |
| 3. 書名 Chemical Gas and Biosensors for Internet of Things and Related Applications | |

| | |
|----------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 K. Minami G. Yoshikawa | 4. 発行年 2018年 |
| 2. 出版社 技術情報協会 | 5. 総ページ数 5 |
| 3. 書名 臭いの測定法と消臭・脱臭技術 事例集 | |

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 K. Minami T. H. Ngo G. Imamura K. Shiba G. Yoshikawa | 4. 発行年 2018年 |
| 2. 出版社 S&T出版 | 5. 総ページ数 11 |
| 3. 書名 口・鼻・耳の感覚メカニズムと応用技術 | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 連携研究者 | 小島 寛 (KOJIMA Hiroshi) (10225435) | 筑波大学・医学医療系・教授 (12102) | |
| 連携研究者 | 佐藤 幸夫 (SATO Yukio) (10312844) | 筑波大学・医学医療系・教授 (12102) | |
| 連携研究者 | 鷲尾 隆 (WASHIO Takashi) (00192815) | 大阪大学・産業科学研究所・教授 (14401) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |